

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESEN (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
23. Oktober 2003 (23.10.2003)

PCT

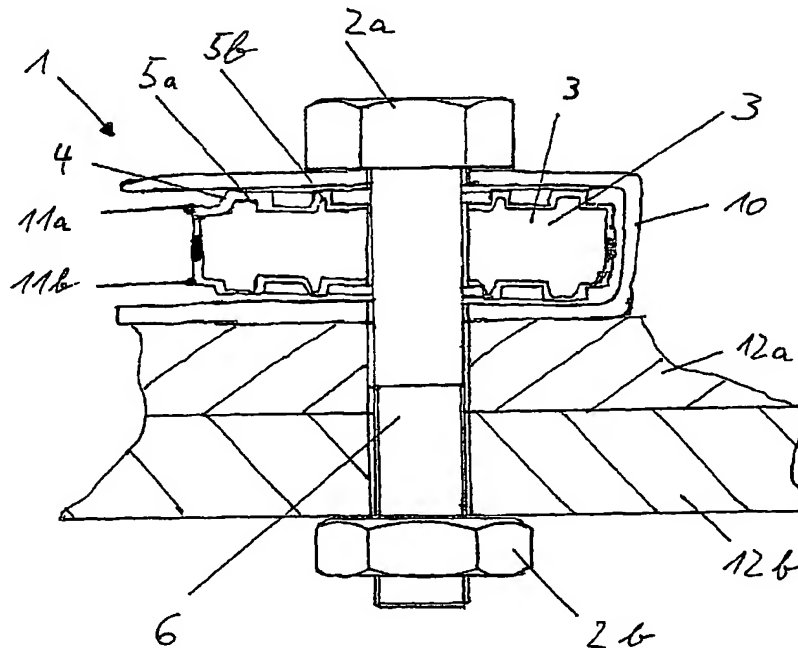
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/087751 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01L 5/24, F16B 31/02**
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP03/03750**
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
10. April 2003 (10.04.2003)
- (25) Einreichungssprache: **Deutsch**
- (26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 17 284.6 12. April 2002 (12.04.2002) **DE**
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, 80636 München (DE).**
- (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LÜTHJE, Holger [DE/DE]; Buchenweg 15, 25469 Halstenbek (DE). BIEHL, Saskia [DE/DE]; Wendezeller Ring 15, 38176 Wendeburg (DE). BANDORF, Ralf [DE/DE]; Saarbrückener Strasse, 38116 Braunschweig (DE). SICK, Jan-Heinrich [DE/DE]; Essener Str. 61, 38108 Braunschweig (DE).**
- (74) Anwalt: **PFENNING MEINIG & PARTNER GBR; Joachimstaler Strasse 10-12, 10719 Berlin (DE).**
- (81) Bestimmungsstaaten (national): **JP, US.**
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): **europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).**
- Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **CONTROL DEVICE FOR NON-POSITIVE CONNECTIONS**

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG ZUR KONTROLLE KRAFTSCHLÜSSIGER VERBINDUNGEN**



(57) Abstract: The invention relates to a control device (1) for non-positive connections, especially screw connections. The device comprises two force application elements (2a, 2b) and a measuring element (3) arranged therebetween. The measuring element is at least partially provided with a layer (4) having a force sensory effect. The surface of the layer is provided with elevations (5a, 5b) for receiving a force applied by the force application elements.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

**(57) Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen, insbesondere Schraubverbindungen. Die Vorrichtung weist zwei Kraftaufbringungselemente (2a, 2b) sowie ein dazwischenliegendes Messelement (3) auf, wobei das Messelement zumindest bereichsweise mit einer Schicht (4) versehen ist, welche einen kraftsensitiven Effekt aufweist. Die Oberfläche der Schicht zeigt Erhebungen (5a, 5b) zur Aufnahme einer durch die Kraftaufbringungselemente aufgetragenen Kraft.

Vorrichtung zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen

5 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen, vorteilhafterweise von Schraubverbindungen.

Schraubverbindungen beruhen auf der Umwandlung eines Drehmomentes in eine Axialkraft über ein Gewinde.  
10 Diese Kraft führt zu einer elastischen Dehnung des Schraubenschaftes und preßt die zu verbindenden Bauteile kraftschlüssig aufeinander. Schraubverbindungen gehören zu den lösbaren Verbindungen in der Konstruktionstechnik, worin auch ihre größte Gefahr begründet  
15 liegt. Diese Verbindungen können ihre Funktion durch Vibration, Setzungsvorgänge oder ähnliches verlieren.

Zur Verhinderung des unabhängigen LöSENS werden verschiedene Methoden angewandt. Es können Splinte quer  
20 durch die Schraube gesetzt werden, die ein Herausfal-

len verhindern. Die Verbindung ist dann jedoch eigentlich schon gelöst. Ferner werden verschiedene Arten von Klebstoffen verwandt, welche ein Lockern durch Vibration unterbinden sollen. Des weiteren kommen federnde Schrauben zum Einsatz, welche eine Spannung aufrecht erhalten und so ein Losvibrieren verhindern sollen.

Alle diese Methoden geben aber keinen Aufschluß über den Zustand einer Schraubverbindung, sondern sollen einen einmal eingestellten Status Quo aufrecht erhalten. Die Qualität einer Schraubverbindung ist jedoch durch die axiale Vorspannung determiniert, welche sich bei anspruchsvolleren Konstruktionen auch noch in einem bestimmten Bereich bewegen muß. Zu einer ständigen Überwachung muß also eine axiale Kraft fortlaufend gemessen werden.

Zur Messung der axialen Kraft von Schraubverbindungen sind Verfahren bekannt, bei der das Anzugsdrehmoment in eine Axialkraft umgerechnet wird. Diese Verfahren liefern nur unzuverlässige Ergebnisse und sind beispielsweise sehr abhängig von Reibungskoeffizienten zwischen Schraubkopf und Unterlage, welcher sich mit der Betriebszeit stark ändert.

Weiterhin ist bekannt, zur Messung der Axialkraft ein piezoelektrisches Schichtsystem auf den Schraubenkopf zu applizieren. Über ein Ultraschall-Lesegerät erhält man so eine recht genaue Angabe der Axiallast in der Schraubverbindung. Eine derartige Vorgehensweise bringt jedoch einige Nachteile mit sich. Zum einen ist sie nicht für jede Kopfform geeignet, zum anderen muß für jeden Schraubentyp eine neue Kennlinie aufgenommen werden. Ferner ist durch die recht aufwendige Ultraschallauslesung eine Dauerüberwachung vieler

Schraubverbindungen kaum wirtschaftlich realisierbar.

Bekannte Lösungen sind in der DE 198 31 372 und DE 199 54 164 beschrieben worden. Diese Lösungen haben jedoch den Nachteil, daß eine größere Verformung und damit Meßstrecke aufgewandt werden muß, wie in DE 198 31 372 anhand von Fig. 1b oder 1c erkennbar. Ein großer Nachteil der bekannten Lösungen besteht auch darin, daß keine optimierte Anpassung der Axialkraftmessung erfolgen kann. Bei Verwendung der piezoresistiven Meßschicht auf einer U-Scheibe wie in DE 199 54 164 dargestellt wurden, zeigt die Widerstandsänderung in Abhängigkeit der Kraft einen exponentiellen Verlauf. Bei großer Belastung reduziert sich folglich die Empfindlichkeit der Messung, da die Steigerung der Kurven erheblich flacher ausfällt. Um trotzdem noch genaue Ergebnisse über die eingeleitete Axialkraft in den Schraubenschaft zu erhalten, ist eine empfindliche Meßelektronik notwendig bzw. es sind besonders aufwendige Rahmenbedingungen zu schaffen, um trotzdem eine ausreichend genaue und aussagekräftige Messung durchführen zu können. Hierdurch resultieren hohe Kosten bei trotzdem noch u.U. ungenauen Messungen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen vorzusehen, welche eine kostengünstige und genaue Ermittlung der in die kraftschlüssige Verbindung, insbesondere Schraubverbindung eingebrachten Axialkraft liefert.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung nach Anspruch 1 gelöst.

Dadurch, daß ein Meßelement, auf welches Kraftauf-

bringungselemente wirken, mit einer Schicht versehen ist, welche einen kraftsensorischen Effekt aufweist, und die Oberfläche der kraftsensorischen Schicht als flächige Erhebungen ausgestaltete Schichterhebungen zur Aufnahme einer durch die Kraftaufbringungselemente aufgebrachten Kraft aufweist, kann durch die Vor-  
5 sehung bestimmter Tragprofile der Kurvenverlauf (Widerstandsänderung in Abhängigkeit der eingeleiteten Kraft) eingestellt werden. Es ist somit möglich, bestimmte Erhebungsprofile so zu variieren (z.B. in ihrer Fläche bzw. Form), daß die Messung stets in einem optimalen Kurvenbereich möglich ist, bei der zur Auswertung günstige Steigung der Kurve benutzt werden kann, ohne daß aufwendige Auswertemethoden notwendig  
10 sind. Somit ist es also möglich, daß der Kern des Meßelements und/oder eine Zwischenschicht und/oder die kraftsensorische Schicht flächige Erhebungen aufweisen, welche als Tragprofile ausgebildet sind. Hiermit ist eine gezielte Anpassung durch Vorgabe der gewünschten Aufnahme-  
15 fläche für die aufzubringende Kraft gegeben. Unter "Kraftaufbringungselementen" sind im Sinne der vorliegenden Erfindung sämtliche Elemente (unabhängig von deren Form und Anzahl) zu verstehen, welche eine Kraft auf das erfindungsgemäße Meßelement aufbringen können.  
20  
25

Diese erfindungsgemäße Lehre ist prinzipiell für alle Schichten möglich, welche einen kraftsensorischen Effekt aufweisen. In der vorliegenden Anmeldung kann  
30 unter "kraftsensorischem Effekt" ein beliebiges Material verstanden werden, welches unter dem Einfluß mechanischer Beanspruchung seinen elektrischen Widerstand ändert. Eine bekannte Untergruppe hierzu sind z.B. piezoresistive Stoffe.

35  
Vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfin-

5                    dung werden in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

10                   Eine sehr vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, daß die Kraftaufbringungselemente Teile einer Schraubver-  
15                   bindung sind. Hierbei kann das erste Kraftaufbrin-  
20                   gungselement der Kopf einer Schaftschraube und das  
25                   zweite Kraftaufbringungselement eine dazu komplen-  
30                   täre Mutter der Schaftschraube sein. Alternativ ist  
35                   es auch möglich, einen Schraubbolzen vorzusehen, wo-  
bei die Kraftaufbringungselemente durch zwei Muttern  
gegeben sind, welche das Meßelement (sowie die zu  
verbindenden Bauelement) einschließen. Die Erfindung  
ist aber prinzipiell für sämtliche kraftschlüssigen  
Verbindungen nutzbar z.B. auch für beliebige Stützen,  
Auflagen und Ständer. Prinzipiell kann die Verbindung  
auch für Nietverbindungen etc. zur Festigkeitskon-  
trolle genutzt werden.

20                   Eine weitere Weiterbildung sieht vor, daß das Meßele-  
25                   ment sich gegenüber liegende Ober- und Unterseiten  
30                   aufweist, wobei die Ober- und/oder Unterseite jeweils  
35                   mit einer Schicht, welche einen kraftsensorischen Ef-  
fekt aufweist, versehen sind. Dies bedeutet, daß bei  
dem Meßelement, welches vorzugsweise einen Flachquer-  
schnitt aufweist (z.B. mit rundem oder quadratischem  
Zuschnitt bzw. mit einer zusätzlichen Verdrehsiche-  
rung versehen ist), wahlweise die Erhebungen, welche  
quasi den "Kraftsensor" darstellen, an der Ober- oder  
Unterseite des Meßelements angeordnet sein können.  
Selbstverständlich ist es auch möglich, daß diese  
beidseitig auf dem Meßelement angegeben sind, die Si-  
gnalverarbeitung kann dann entweder in einem gemein-  
samen oder einem getrennten Stromkreis für die Ober-  
und Unterseite ausgewertet werden.

Abhängig vom Material des Kerns des Meßelementes, auf

welchem die kraftsensorische Schicht aufgebracht ist (also primär abhängig davon, ob dieser Kern elektrisch leitend ist oder nicht) kann das Meßelement in den Bereichen, welche nicht mit einer kraftsensorischen Schicht belegt sind, entweder mit einer elektrischen isolierenden Schicht (d.h. z.B. mehr als  $10^{15}$  Ohm-cm) versehen sein oder auch in diesen Restbereichen unbeschichtet sein (bei einem elektrischen Isolator).

Für die Form des Meßelementes sind unterschiedliche Ausführungen möglich, besonders günstig ist eine hohlkreiszyindrische Form. Hierbei hat das Meßelement die Form einer Scheibe mit einem zentralen Loch, welches dem durchführen eines Bolzens bzw. einer Schraube dient.

Insbesondere hierzu sieht eine Weiterbildung vor, daß die Erhebungen ringförmig auf der Ober- oder Unterseite des Meßelementes angeordnet sind, also z.B. konzentrisch bezüglich des Lochs zum Durchführen der Schraube. Es ist hierzu auch möglich, daß mehrere ringförmige Erhebungen vorgesehen sind, welche wiederum konzentrisch zueinander angeordnet sind.

Je nach gewünschter Auflagefläche bzw. Kraft-Verformungsbeziehung können diese ringförmigen Erhebungen senkrecht zur Umfangsrichtung einen rechteckigen, dreieckigen oder gerundeten Querschnitt aufweisen.

Unabhängig davon können auch mehrere Erhebungsbereiche vorgesehen sein, welche auch völlig unterschiedliche Geometrien aufweisen. So können z.B. einzelne Bereiche Ansammlungen nebeneinander liegender zylinderförmiger Elemente auf der Oberfläche des Meße-



menten aufweisen, rechteckförmige Elemente etc. Prinzipiell ist das Tragprofil dieser Erhebungen in Art und/oder Anzahl beliebig variierbar. Mit Hilfe von aus der Strukturierungstechnik bekannten Verfahren sind quasi beliebige Formen herstellbar. Bekannte Verfahren sind z.B. Präge-, Umform-, Pressverfahren und Verfahren der Schleif- und zerspanenden Technik sowie Ätzverfahren, Laserstrukturierung und Funken-erosion. Die unterschiedlichen Erhebungsbereiche sind (egal ob sie auf einer gemeinsamen Seite des Meßelementes untergebracht sind oder nicht) bei Bedarf auch elektrisch voneinander getrennt ansteuerbar.

Dies kann sinnvoll sein zur Temperaturkompensation bzw. zur Mittelwertbildung (Ausgleich von z.B. geometrischen Toleranzen einer Schraube bzw. eines zu verbindenden Bauteils). Prinzipiell können die auf der Ober- und Unterseite befindlichen Bereiche jeweils getrennt elektrisch angesteuert werden und in einer Parallelschaltung gemeinsam signalmäßig verarbeitet werden. Zur gezielten Beeinflussung des Widerstandes kann hierbei auch die Schichtdicke auf der Ober- bzw. Unterseite jeweils unterschiedlich ausgeführt werden.

Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, daß das Meßelement, welches z.B. die Form einer Unterlegscheibe hat, in einer Öse zur Vermeidung von Lageänderungen des Meßelementes bei einer Relativbewegung der Kraftaufbringungselemente zueinander untergebracht ist. Hierdurch wird vermieden, daß z.B. bei Drehung eines Schraubenkopfes das Meßelement in Form einer Unterlegscheibe automatisch mitgedreht wird. Ein solches Mitdrehen kann insbesondere dann schädlich sein, wenn die kraftsensorische Schicht aus nicht sehr verschleißfestem Material besteht. Es kann hierbei zu Brüchen der Schicht selbst kommen, welche

die Meßwerte verfälschen bzw. die Schraubverbindung und deren angrenzenden Teile mechanisch schädigen.

5 Eine übliche Ausführungsform sieht vor, daß das Meße-  
lement einen Kern aufweist, auf den die kraftsensori-  
sche Beschichtung aufgebracht ist. Der Kern ist vor-  
zugsweise aus gehärtetem oder ungehärtetem Stahl so-  
wie legierten Stählen oder Edelstahl bzw. aus kerami-  
10 schen Werkstoffen oder auch glasfaserverstärkten  
Kunststoffen etc. Zur Vermeidung von Sprödb Brüchen der  
Beschichtung ist es bei diamantähnlichen Kohlenstoff-  
verbindungen in der kraftsensorischen Schicht jedoch  
nützlich, keine zu leicht verformbaren Kernmateriali-  
15 en vorzusehen wie z.B. Blei. Prinzipiell ist der Kern  
sogar aus Materialien mit niedrigem Schmelzpunkt her-  
stellbar, da im Falle der Anwendung von kraftsensiti-  
ven diamantartigen Kohlenstoffschichten die Schicht  
auch in kalten Verfahren aufbringbar ist (vorzugswei-  
se unter 150 Grad Celsius).

20 Die kraftsensorische Schicht kann aus verschiedenen  
Materialien gebildet sein. Denkbar sind z.B. mecha-  
nisch feste Halbleiter bzw. bekannte piezoresistive  
Werkstoffe. Die Herstellung der kraftsensorischen  
25 Schicht kann mit Hilfe bekannter CVD- und PVD-  
Verfahren erfolgen, für diamantartige piezoresistive  
Schichten erfolgt die Herstellung zum Beispiel mit-  
tels einer Plasma-CVD-Technik. Metallocierte dia-  
mantartige kraftsensorische Schichten können z.B.  
30 mittels ARC-, Sputter- und Gasflußverfahren herge-  
stellt werden. Bezüglich möglicher Schichtmaterialien  
wird ausdrücklich auf die DE 199 54 164 A1 verwiesen,  
in welcher eine Fülle von Materialien angegeben ist.  
Zur Vermeidung von Wiederholungen wird lediglich Be-  
35 zug auf diese veröffentlichte Anmeldung genommen, de-  
ren sämtliche Einzelheiten in Bezug auf das Material

in die vorliegende Anmeldung inkorporiert werden soll. Es ist zu betonen, daß die Ausbildung der kraftsensorischen Schicht aus amorphem Kohlenstoff besonders vorteilhaft ist. Es können z.B. graphitische Strukturen mit  $sp^2$ -Hybridisierung in Kombination mit diamantähnlichen Strukturen mit  $sp^3$ -Hybridisierung vorgesehen werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann außerdem elektrische Anschlüsse und eine elektrische Schaltung zur Signalgewinnung, -übertragung und -auswertung enthalten. Um Probleme durch Flüssigkeitseintrag bzw. Drehbarkeit einzelner Elemente gegeneinander zu vermeiden, kann die Signalwertübertragung auch telemetrisch erfolgen.

Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Die Erfindung wird nun anhand mehrerer Figuren erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen im eingebauten Zustand;

Figuren 2a und 2b eine Draufsicht sowie einen Querschnitt einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Meßelementes;

Figuren 3a bis 3f weitere Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Meßelementes;

Figur 4 verschiedene Erhebungsbereiche in der

Draufsicht einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Meßelementes.

5       Figur 1 zeigt eine Vorrichtung 1 zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen. Gezeigt ist eine Schraubverbindung. Ein Schraubenschaft 6 weist an seinem oberen Ende ein fest damit verbundenen Schraubenkopf 2a sowie an seinem unteren Ende eine mittels eines Gewindes aufgeschraubte Mutter 2b auf. Schraubenkopf 2a und Mutter 2b stellen zwei Kraftaufbringungselemente im Sinne der Erfindung dar.

10       Zwischen diesen Kraftaufbringungselementen sind zwei kraftschlüssig zu verbindende Bauelemente 12a und 12b angebracht, welche über korrespondierende Öffnungen zur Durchführung des Schraubenschaftes 6 verfügen. Auf dem oberen Bauelement 12a ist ein erfindungsgemäßes Meßelement 3 innerhalb einer Hülse 10 vorgesehen. Das Meßelement 3 ist im wesentlichen ganzflächig von einer Schicht 4 überzogen. An der Ober- sowie an der Unterseite des Meßelementes 3 sind konzentrisch zu einer zentralen Bohrung zum Durchführen des Schraubenschaftes 6 konzentrische ringförmige Erhebungen 5a (außen) und 5b (innen) angebracht. Diese ragen aus der Ober- bzw. Unterseite des Meßelementes 3 heraus und stehen mit den Innenseiten der Hülse 10 in Verbindung, d.h. daß lediglich die Erhebungen mit der oberen bzw. unteren Innenwand der Hülse verbunden sind und somit auch nur diese bei Verkürzung des Abstandes zwischen den beiden Kraftaufbringungselementen eine Druckkraft erfahren.

30       Zur Detektierung der Höhe einer Druckkraft auf das Meßelement 3 weist die Schicht 4 einen kraftsensorischen Effekt im Sinne der oben angegebenen Definition

35

auf. Die Schicht 4 ist hier durch einen amorphen Kohlenstoff gebildet, wie er z.B. der De 199 54 164 A1 entnehmbar ist. Denkbar sind für diesen Einsatzzweck aber prinzipiell sämtliche Werkstoffe, welche bei mechanischer Belastung eine Änderung ihres elektrischen Widerstandswertes zeigen.

Wesentlich ist für die vorliegende Erfindung, daß durch die Ausbildung der Tragprofile auf dem Meßelement 3, d.h. die kraftaufnehmenden Erhebungen (z.B. 5a und 5b) die Fläche, auf welche die Druckkraft der Kraftaufbringungselemente verteilt wird, in praktisch beliebigen Grenzen variiert werden kann. Dies ist, wie bereits oben ausgeführt, nützlich, um einen zur Auswertung günstigen Bereich der Beziehung zwischen aufgebrachter Kraft und elektrischer Widerstandsänderung zu erhalten.

In einer bevorzugten Ausführung erfolgt die elektrische Kontaktierung über den Kern des Meßelements 3 und die zweite Kontaktierung über die Masse der Vorrichtung. Es sind jedoch auch andere meßtechnische Auswertungen möglich.

Die meßtechnische Auswertung erfolgt über elektrische Kontakte 11a und 11b. Hierbei sind der elektrische Kontakt 11a und 11b zunächst elektrisch voneinander isoliert. Sie stehen jeweils mit den voreinander elektrisch isolierten kraftsensorischen Schichten der Ober- bzw. Unterseite in Verbindung. Prinzipiell bilden die Schichten auf der Ober- sowie auf der Unterseite voneinander unabhängige Meßsensoren des Meßelementes 3, welche jeweils mit einem nicht dargestellten weiteren Pol (Massepol, hierzu sind bei den angrenzenden Bauteilen fachübliche elektrisch leitende Materialien zu wählen) verbunden sind. Zur Verbesse-

5            rung der Signalgüte können die Signale der kraftsen-  
sorischen Schichten der Ober- bzw. Unterseite in ei-  
ner gemeinsamen Parallelschaltung aufgenommen und  
später ausgewertet werden.

10           Das Meßelement 3 kann selbstverständlich auch ledig-  
lich auf der Ober- bzw. nur auf der Unterseite eine  
kraftsensorische Schicht aufweisen, hierzu wird auf  
die später gezeigten Ausführungsformen verwiesen.

15           Eine besonderen Vorteil zeigt die Ausführungsform  
nach Figur 1, da das Meßelement 3 in einer Hülse 10  
zur Verdrehsicherung untergebracht ist. Die Hülse 10  
kann (wie auch der Schraubenschaft 6 sowie die Kraft-  
20           aufbringungselemente 2a und 2b) aus einem elektrisch  
leitenden Metall bestehen. Durch Zwischenschaltung  
der Hülse 10 wird einerseits eine Relativbewegung  
zwischen Schraubenkopf 2a und beschichteten Erhebun-  
gen 5b bzw. 5a vermieden sowie eine Verdrehsicherung  
25           erreicht. Hierzu kann zwischen Hülse 10 und Bauteil  
12a auch eine zusätzliche Verdrehsicherung mittels  
korrespondierender formschlüssiger Eingriffe vorgese-  
hen sein.

30           Es wird aber ausdrücklich betont, daß die Hülse 10  
kein wesentliches Merkmal der Gesamterfindung dar-  
stellt, d.h. daß sämtliche der hier gezeigten Ausfüh-  
rungsformen auch ohne Hülse 10, d.h. also direkt zur  
Auflage auf dem Bauteil 12a bzw. dem Schraubenkopf 2a  
35           geeignet sind.

            Für den Aufbau des Meßelementes 3 sind - neben der  
Art der Erhebungen 5a und 5b - auch unterschiedliche  
Bauformen in Bezug auf das Material eines Kerns 3'  
35           des Meßelementes 3 sowie der darauf aufgebracht  
kraftsensorischen bzw. elektrisch isolierenden

Schichten möglich. Vorliegend ist der Kern aus einfachem ungehärtetem Stahl, es sind jedoch auch je nach Anwendung beliebige gehärtete Edelstähle sowie Stahllegierungen möglich, ferner keramische Werkstoffe oder glasfaserverstärkte Kunststoffe (siehe oben in der Beschreibungseinleitung).

Figur 2a und 2b zeigen eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Meßelementes. Dieses weist an seiner flachen Unterseite 8 eine elektrisch isolierende Schicht 9 auf. Als elektrischer Isolator ist hierbei eine Substanz von  $10^{15}$  Ohm-cm oder mehr spezifischem Widerstand zu sehen. Als Isolatoren kommen z.B.  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $SiN$  oder ein Material aus hochohmigem diamantartigem Kohlenstoff, welches unter der Marke "SiCON®" vertrieben wird, in Betracht. Das Meßelement 3 zeigt einen hohlzylindrischen Flachquerschnitt mit lediglich um eine zentrale Öffnung konzentrisch angeordneten Erhebung auf der Oberseite. Die Oberseite ist hierbei mit einer kraftsensorischen Schicht 4 überzogen. Je nach Verlauf der gewünschten Kurve zwischen Druckkraft und Änderung des elektrischen Widerstandes sowie abhängig von der Härte/Sprödigkeit der kraftsensorischen Schicht 4 kann der Querschnitt der Erhebungen 5a senkrecht zur Umfangsrichtung dieser kreisringförmigen Erhebungen eine unterschiedliche Form aufweisen. Für eher großflächige Druckeinleitung sind rechteckige Querschnittsformen wie in Figur 2b ersichtlich möglich, es sind jedoch auch dreieckige oder gerundete Formen für eine stärkere Drucküberhöhung wählbar.

Figuren 3a bis 3f zeigen weitere Ausführungsformen erfindungsgemäßer Meßelemente 3. Ihnen allen ist gemeinsam, daß sie zumindest bereichsweise im Bereich von Erhebungen des Meßelementes 3 eine kraftsensori-

sche Schicht aufweisen, welche mit einem elektrischen Kontakt in Verbindung steht. Die kraftsensorische Schicht sollte vorteilhafterweise einen spezifischen elektrischen Widerstand von weniger als  $10^8$  bis  $10^{-2}$  Ohm-cm aufweisen.

Figur 3a zeigt wiederum eine hohlkreiszyklindrische Ausführung des Meßelementes 3 mit drei konzentrischen ringförmigen und im Querschnitt rechteckigen Erhebungen 5a, 5b, 5c. Die Unterseite des Meßelementes 3 ist mit einem Isolator 9 belegt. Figur 3b zeigt eine weitere Ausführungsform mit lediglich zwei konzentrischen Erhebungen auf der Oberseite, die Kreisscheibe ist jedoch über ihre gesamte Fläche mit einer durchgängigen kraftsensorischen Schicht 4 ummantelt.

Figur 3c zeigt eine weitere Ausführungsform mit lediglich einer kreisringförmigen Erhebung 5a auf der Oberseite, die Unterseite des Meßelementes 3 ist nicht beschichtet (weder mit einer kraftsensorischen noch mit einer isolierenden Schicht).

Figur 3d zeigt eine weitere Ausführungsform, bei welcher Ober- sowie Unterseite jeweils mit gleich gestalteten konzentrischen kreisringförmigen Erhebungen versehen sind.

Figur 3e und 3f zeigen weitere Ausführungsformen, bei welchen die Unterseite entweder aus einem Isolator oder einer kraftsensorischen Schicht besteht, die mehreren Erhebungen auf der Oberseite sind wahlweise im Querschnitt senkrecht zur Umfangsrichtung der kreisringförmigen Erhebungen dreieckig oder gerundet.

Schließlich zeigt Figur 4 eine weitere Ausführungs-



form eines erfindungsgemäßen Meßelementes 3 in der Draufsicht. Dieses weist keine bezüglich der Zentralachse zur Durchführung des Schraubenschafts rotationssymmetrische Ausgestaltung auf. Statt dessen sind mehrere Erhebungsbereiche 5a' bis 5e' gezeigt. Diese bestehen jeweils aus Feldern mit Tragprofilen, welche eine jeweils unterschiedliche Art und/oder Anzahl von Erhebungen aufweisen. Als Form kommen beliebige in der Draufsicht sichtbare noppen- bzw. streifenförmige Elemente in Betracht, z.B. solche mit rundem, rechteckigem, kreissegmentbogenförmiger Draufsicht in Betracht. Die Tragfiguren können unterschiedliche Querschnittsprofile aufweisen. So sind Profile mit senkrechten und schrägen Kanten sowie gerundete Querschnittsprofile machbar.

Es ist auch möglich, verschiedene Erhebungsbereiche elektrisch voneinander zu trennen (unabhängig davon, ob diese auf der Ober- und/oder Unterseite des Meßelementes 3 angebracht sind). Die verschiedenen Erhebungsbereiche können hierbei identische oder auch unterschiedliche Tragprofile aufweisen. Ein Einsatzzweck hierfür liegt z.B. darin, Meßungenauigkeiten infolge von Temperaturschwankungen auszugleichen.

## Patentansprüche

- 5           1.    Vorrichtung (1) zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen, insbesondere Schraubverbindungen, wobei die Vorrichtung Kraftaufbringungselemente (2a, 2b) sowie mindestens ein Meßelement (3) aufweist, wobei das Meßelement zumindest be-  
10           reichsweise mit einer Schicht (4) versehen ist, welche einen kraftsensorischen Effekt aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der Schicht als Tragprofile zur Kraftaufnahme ausgebildete flächige Erhebungen (5a, 5b) zur Aufnahme einer durch die Kraftaufbringungselemente  
15           aufgebrachten Kraft aufweist.
2.    Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der kraftsensorische Effekt in einer elektrischen Widerstandsänderung der Schicht bei Änderung einer aufgebrachten Kraft besteht.  
20
3.    Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die kraftsensitive Schicht aus diamantähnlichen kohlenstoffbasierenden Schichten mit amorpher  
25           und/oder nanokristalliner Struktur besteht.
4.    Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kraftaufbringungselemente (2a, 2b) der Kopf (2a) einer Schaftschraube (6) sowie die dazu komplementäre Mutter (2b) der Schaftschraube sind.  
30
5.    Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßelement (3) sich gegenüberliegende Ober- (7) und

Unterseiten (8) aufweist, wobei die Ober- und/oder Unterseite jeweils zumindest teilweise mit einer Schicht, welche einen kraftsensorischen Effekt aufweist, versehen sind.

- 5            6.    Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Messelement in den Bereichen, welche nicht mit einer kraftsensorischen Schicht belegt ist, mit einer elektrisch isolierenden Schicht (9) versehen ist
- 10           oder in diesen Restbereichen unbeschichtet ist.
7.    Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßelement (3) die Form einer Scheibe mit einem zentralen Loch aufweist.
- 15           8.    Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhebungen ringförmig auf der Oberfläche des Messelementes angeordnet sind (Figuren 2b - 3f).
9.    Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere ringförmige Erhebungen
- 20           (5a, 5b) vorgesehen sind, welche konzentrisch zueinander angeordnet sind.
10.   Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhebungen senkrecht zur Umfangsrichtung der ringförmigen Erhebung eine rechteckige, dreieckige oder gerundete Form aufweisen.
- 25           11.   Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Erhebungsbereich (5a'-5e') vorgesehen sind, wobei diese jeweils unterschiedlicher Art und/oder Anzahl von Erhebungen aufweisen.
- 30

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhebungsbereiche elektrisch voneinander getrennt sind.
- 5 13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßelement in einer Hülse 10 zur Vermeidung von Lageänderungen des Meßelementes bei einer Relativbewegung der Kraftaufbringungselemente (2a, 2b) zueinander untergebracht ist.
- 10 14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßelement einen Kern (3') aufweist, auf den die kraftsensorische (4) Beschichtung aufgebracht ist.
- 15 15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern (3') aus gehärtetem oder ungehärtetem Stahl, legierten Stählen oder Edelstahl, aus keramischen Werkstoffen, glasfaserverstärkten Kunststoffen etc. ist.
- 20 16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die kraftsensorische Schicht aus amorphem Kohlenstoff ist.
- 25 17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß diese elektrische Anschlüsse und eine elektrische Schaltung zur Signalgewinnung, -übertragung und -auswertung enthält.
- 30 18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalwertübertragung telemetrisch erfolgt.

Fig. 1

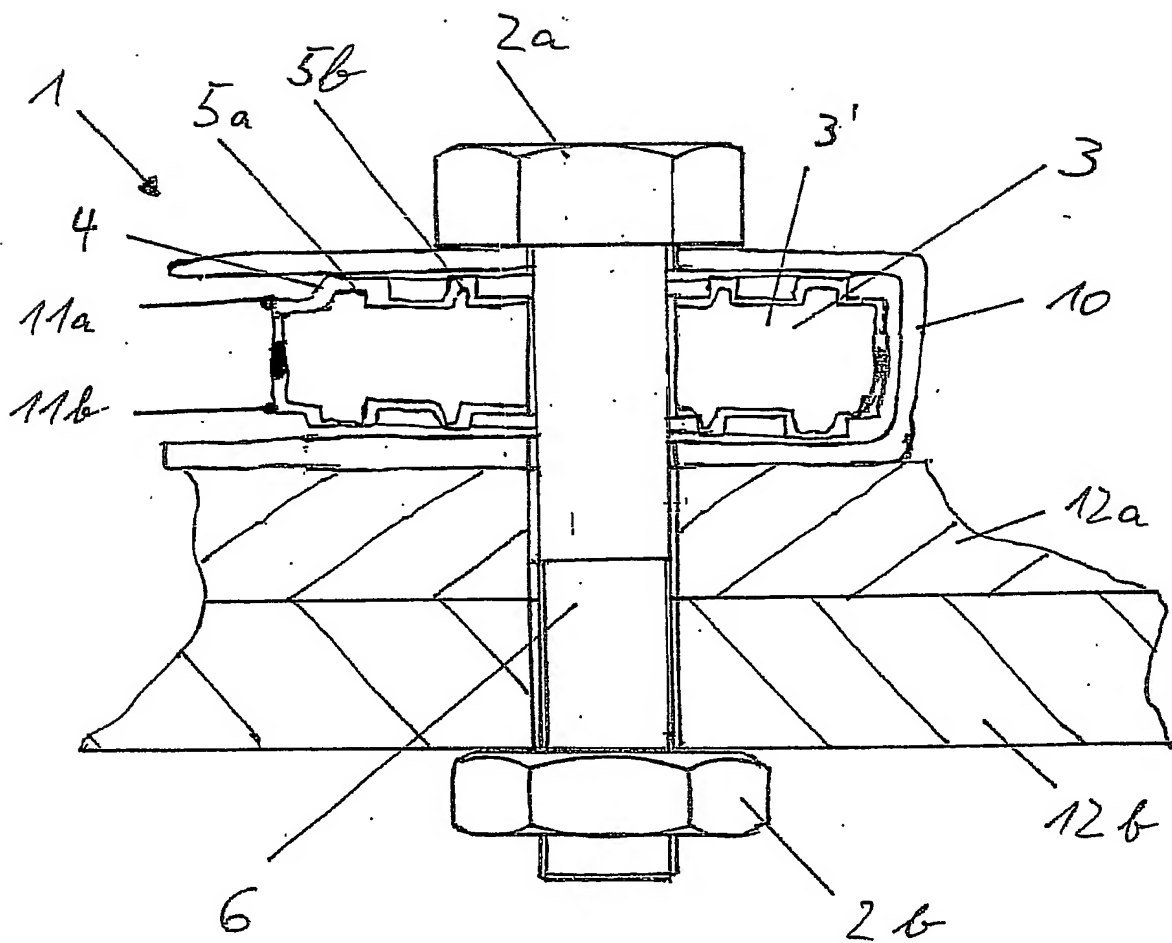


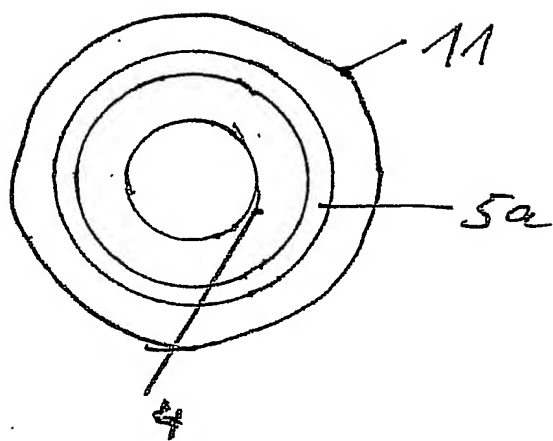
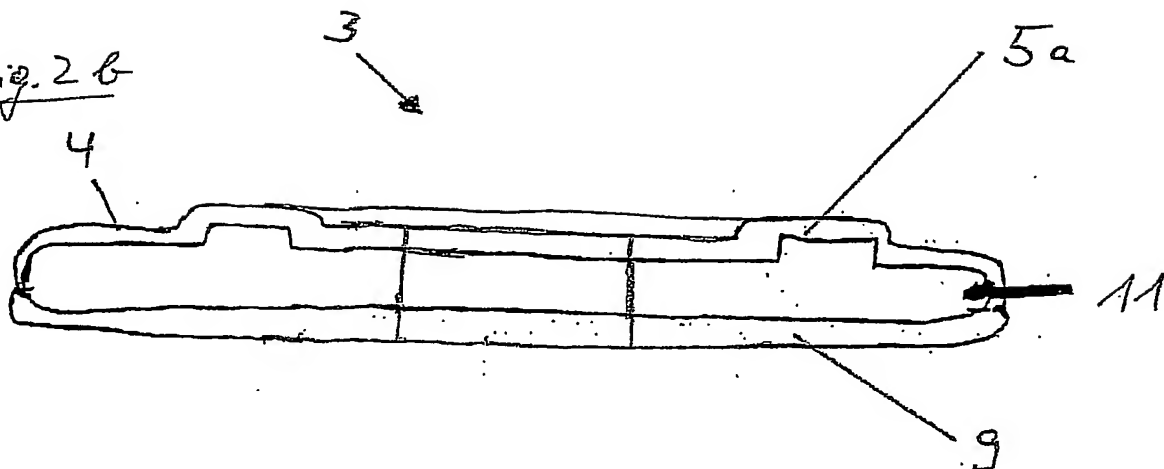
Fig. 2aFig. 2b

Fig. 3a

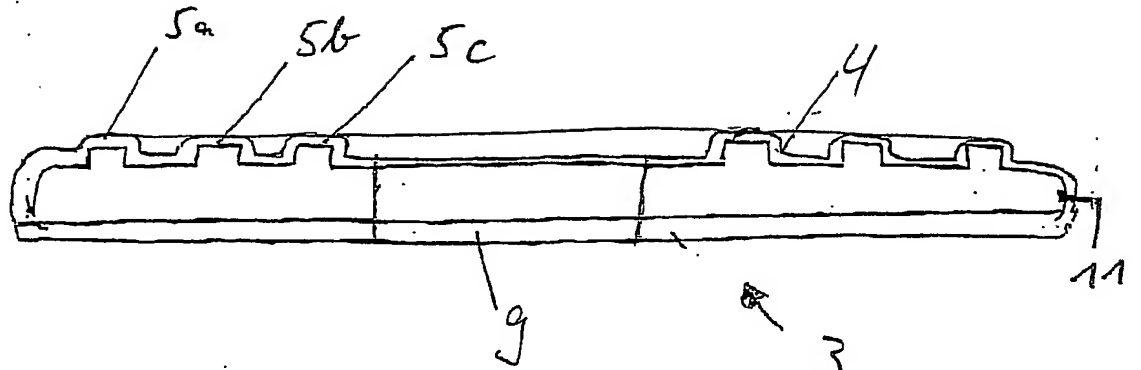


Fig. 3b

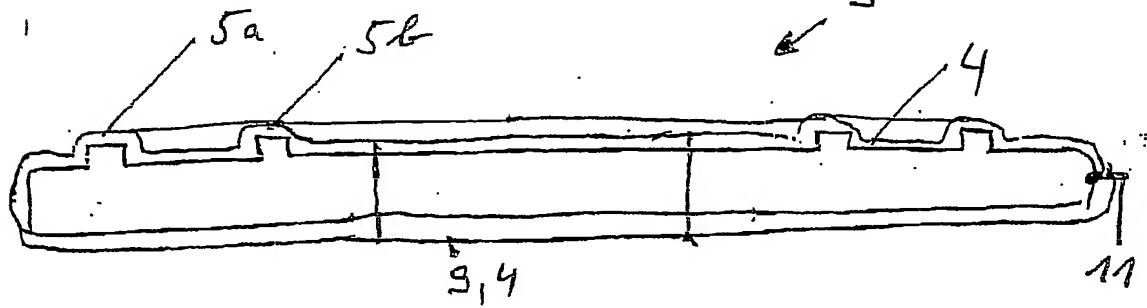


Fig. 3c

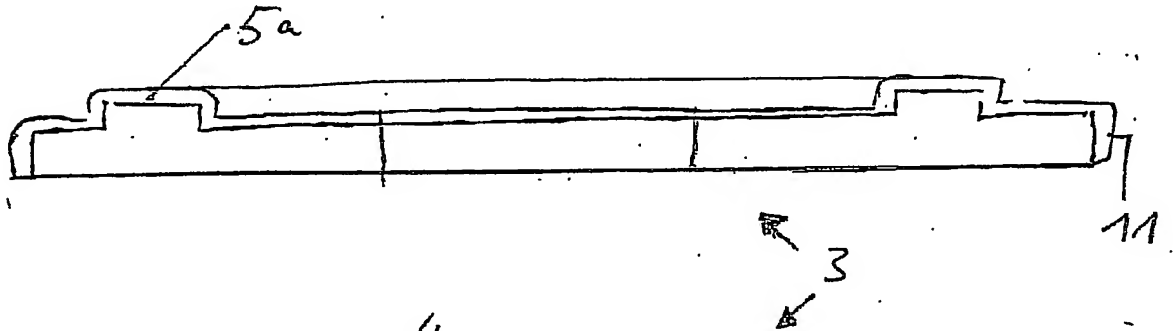
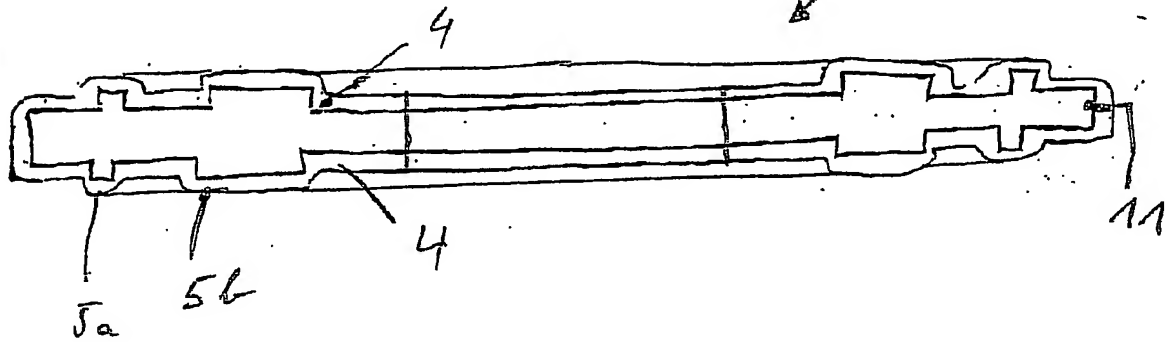
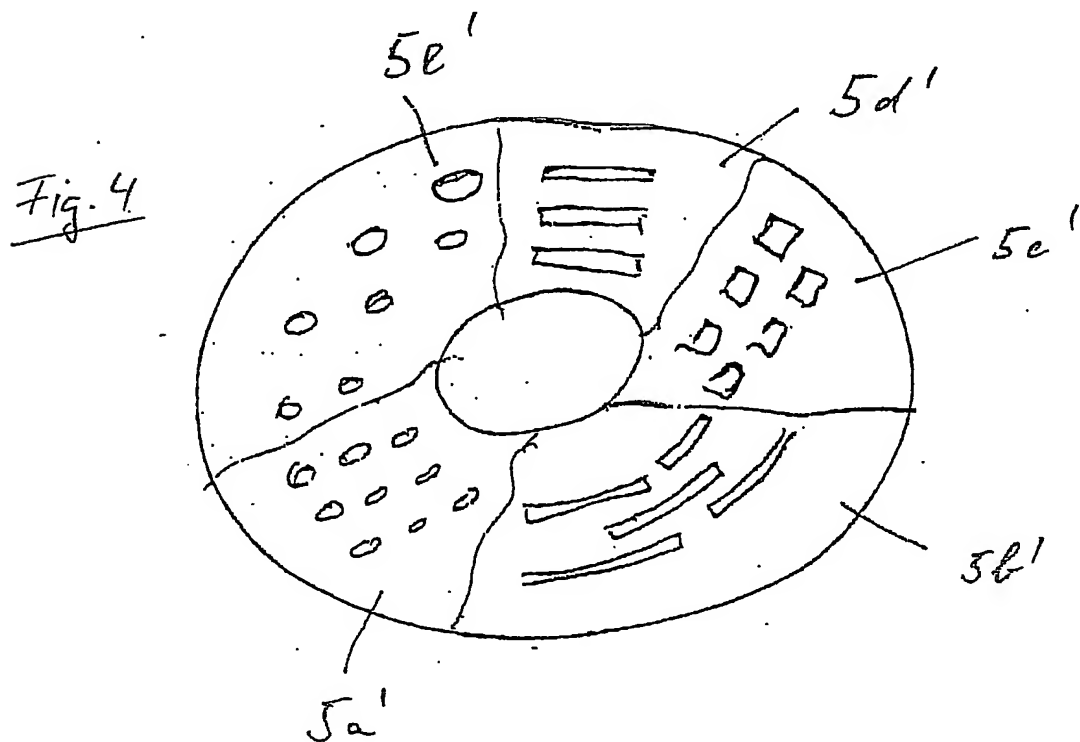
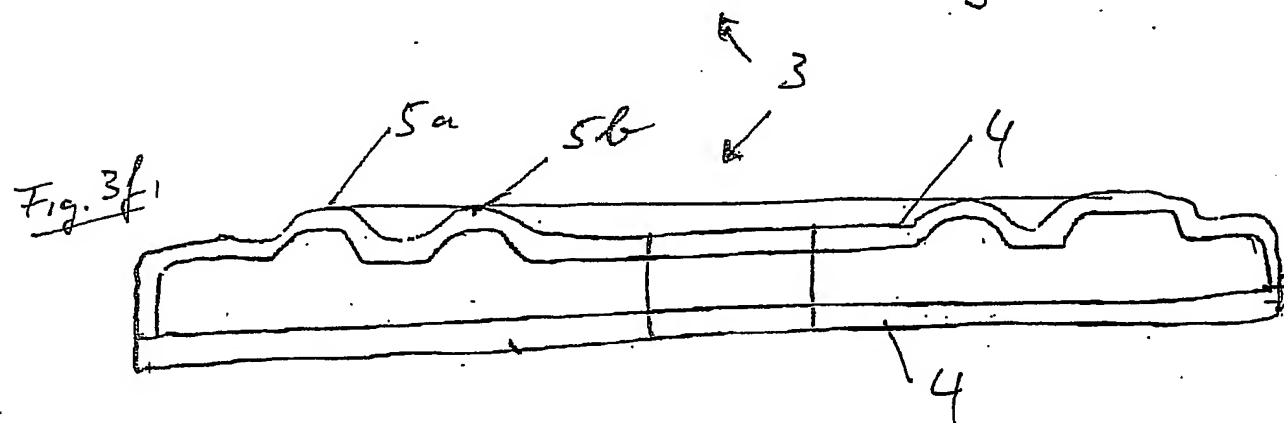
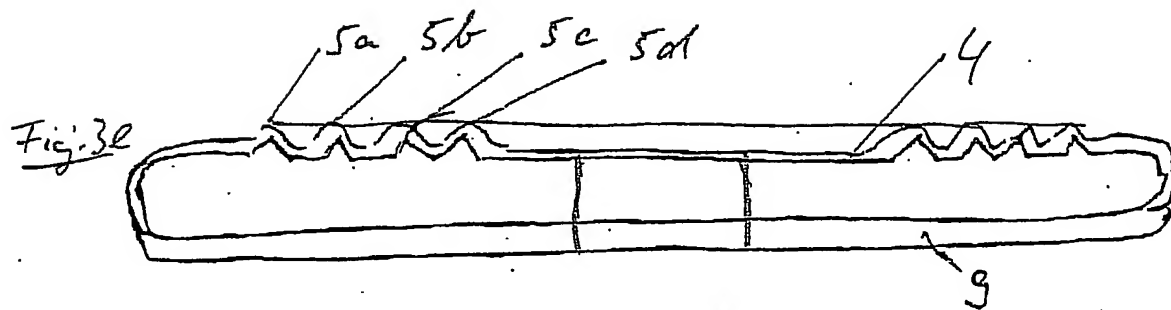


Fig. 3d







# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/03750

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 G01L5/24 F16B31/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01L F16B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 2 310 288 A (CRANNY ANDREW WILLIAM JAMES ; SION RUSSELL PAUL (GB); ATKINSON JOHN) 20 August 1997 (1997-08-20) abstract; figures 1-4	1,2,7, 11,17
A	page 4, line 8 -page 5, line 21	3-6, 8-10, 12-16,18
Y	WO 01 53707 A (SCHATZ GMBH ; SCHATZ VOLKER (DE)) 26 July 2001 (2001-07-26) abstract; figures 2-4 page 4, last paragraph -page 6, line 1 page 8, last paragraph -page 10, paragraph 2	1-18
	--- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*B\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 August 2003

Date of mailing of the international search report

14/08/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Helm, B

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/03750

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>EP 0 844 469 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG)  27 May 1998 (1998-05-27)  abstract; figures 1-3,6,7,10  column 1, line 3 - line 33  column 3, line 55 -column 8, line 55  column 13, line 6 -column 17, line 58  -----</p>	1-18
Y	<p>US 5 769 581 A (HERR JOHN A ET AL)  23 June 1998 (1998-06-23)  abstract; figures 1-9  column 2, line 10 - line 31  column 3, line 20 -column 4, line 20  -----</p>	1-18

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/03750

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2310288	A	20-08-1997	NONE	
WO 0153707	A	26-07-2001	DE 10001857 A1 CN 1395659 T WO 0153707 A1 EP 1248913 A1 US 2003039527 A1	19-07-2001 05-02-2003 26-07-2001 16-10-2002 27-02-2003
EP 0844469	A	27-05-1998	DE 19751708 A1 DE 59707400 D1 EP 0844469 A1	28-05-1998 11-07-2002 27-05-1998
US 5769581	A	23-06-1998	US 5931618 A	03-08-1999

# INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/03750

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G01L5/24 F16B31/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Researchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01L F16B

Researchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die researchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GB 2 310 288 A (CRANNY ANDREW WILLIAM JAMES ; SION RUSSELL PAUL (GB); ATKINSON JOHN) 20. August 1997 (1997-08-20) Zusammenfassung; Abbildungen 1-4	1,2,7, 11,17
A	Seite 4, Zeile 8 -Seite 5, Zeile 21	3-6, 8-10, 12-16,18
Y	WO 01 53707 A (SCHATZ GMBH ; SCHATZ VOLKER (DE)) 26. Juli 2001 (2001-07-26) Zusammenfassung; Abbildungen 2-4 Seite 4, letzter Absatz -Seite 6, Zeile 1 Seite 8, letzter Absatz -Seite 10, Absatz 2	1-18



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

6. August 2003

Absenddatum des Internationalen Recherchenberichts

14/08/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Heim, B

## INTERNATIONAL RESEARCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/03750

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 844 469 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 27. Mai 1998 (1998-05-27) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3,6,7,10 Spalte 1, Zeile 3 - Zeile 33 Spalte 3, Zeile 55 -Spalte 8, Zeile 55 Spalte 13, Zeile 6 -Spalte 17, Zeile 58 ---	1-18
Y	US 5 769 581 A (HERR JOHN A ET AL) 23. Juni 1998 (1998-06-23) Zusammenfassung; Abbildungen 1-9 Spalte 2, Zeile 10 - Zeile 31 Spalte 3, Zeile 20 -Spalte 4, Zeile 20 -----	1-18

# INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/03750

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2310288	A	20-08-1997	KEINE	
WO 0153707	A	26-07-2001	DE 10001857 A1	19-07-2001
			CN 1395659 T	05-02-2003
			WO 0153707 A1	26-07-2001
			EP 1248913 A1	16-10-2002
			US 2003039527 A1	27-02-2003
EP 0844469	A	27-05-1998	DE 19751708 A1	28-05-1998
			DE 59707400 D1	11-07-2002
			EP 0844469 A1	27-05-1998
US 5769581	A	23-06-1998	US 5931618 A	03-08-1999